REDES DE ACESSO

PARTE E - REDES DE ACESSO EM FIBRA ÓPTICA

Mário Serafim Nunes

IST, Março 2005

1 Introdução

A utilização de fibra óptica possibilita uma solução definitiva para as redes de acesso domésticas devido aos elevados débitos que permite, muito superiores a quaisquer outros meios. O principal motivo pelo qual esta tecnologia não está ainda muito difundida está relacionado com os elevados custos da instalação e manutenção dos sistemas ópticos convencionais.

Existem vários organismos de normalização envolvidos na especificação de diferentes soluções de redes de acesso totalmente em fibra ou em combinação com outras tecnologias.

O ETSI definiu especificações de redes de distribuição óptica e redes ópticas passivas. O ITU definiu igualmente recomendações em redes de acesso ópticas. A organização FSAN, constituída por operadores de telecomunicações, esteve igualmente envolvida na especificação de redes ópticas.

2 Rede de Distribuição Óptica

2.1 Introdução

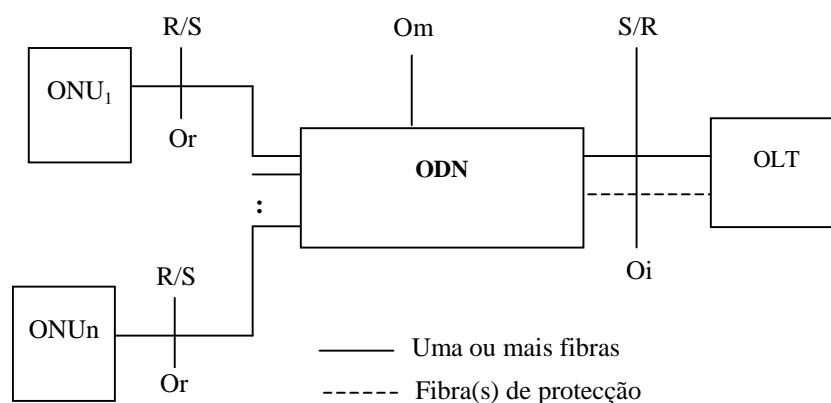
O ETSI definiu em 1997 na ETS 300 681, "*Optical Distribution Network (ODN) for Optical Access Network (OAN)*" [1] a rede de distribuição óptica (ODN), que é parte da rede de acesso óptica (OAN).

R, S: pontos de referência Or , Om , Oi : interfaces ópticas

Figura 1 - Configuração física genérica da ODN

Tal como se pode observar na Figura 1, a ODN está localizada entre as ONU (*Optical Network Unit*) e a OLT (*Optical Line Termination*).

Em geral a ODN proporciona o meio de transmissão óptico para a conexão física das ONUs às OLT. A ODN consiste dos seguintes componentes ópticos passivos:

- fibras mono-modo
- cabos de fibras mono-modo
- conectores ópticos
- dispositivos ópticos de ramificação (*branching*)
- atenuadores ópticos fixos
- junções de fusão (*fusion splices*)
- filtros ópticos
- dispositivos WDM
- amplificadores ópticos

Dependendo da realização física da ODN, os pontos S e R em cada extremidade da ODN podem estar localizados na mesma fibra (coincidem) ou em fibras separadas.

A ODN oferece um ou mais caminhos ópticos entre uma OLT e uma ou mais ÓNUS. Cada caminho óptico é definido entre os pontos de referência S e R numa janela de comprimento de onde específica. Na figura 1 estão definidas as seguintes interfaces ópticas:

Or: interface óptica no ponto de referência R/S entre a ONU e a ODN;

Ol: interface óptica no ponto de referência S/R entre a OLT e a ODN;

Om: interface óptica entre os equipamentos de teste/monitorização e a ODN.

As propriedades ópticas da ODN deverão permitir fornecer qualquer tipo de serviço futuro, sem modificações significativas. Este requisito tem um impacto importante nas propriedades dos componentes ópticos passivos que constituem a ODN. Os requisitos essenciais da ODN são os seguintes:

- transparência de comprimento de onda óptico: dispositivos, tais como ramificadores ópticos (*optical branching*) que não têm funções selectivas em comprimento de onda, deverão suportar a transmissão de sinais em qualquer comprimento de onda nas regiões 1310 nm e 1550 nm;

- reciprocidade: a inversão dos portos de entrada e saída não deve causar alterações significativas nas perdas ópticas através dos dispositivos;

- compatibilidade de fibra: todos os componentes ópticos deverão ser compatíveis com fibra mono-modo como especificado em EN 188101.

As duas direcções de transmissão óptica na ODN são identificadas em seguida:

downstream: direcção dos sinais viajando da OLT para a ONU(s);

upstream: direcção dos sinais viajando da ONU(s) para a OLT.

A transmissão nas direcções downstream e upstream pode ter lugar na mesma fibra e componentes (duplex/diplex) ou em fibras e componentes separados (simplex):

- Duplex refere-se ao uso dos mesmos comprimentos de onda em ambas as direcções de transmissão sobre uma fibra única;

- Diplex refere-se ao uso de diferentes comprimentos de onda para cada direcção de transmissão sobre uma única fibra.

- Simplex refere-se ao uso de uma fibra diferente para cada direcção de transmissão.

2.2 Definição de arquitecturas ODN

A conexão física da OLT e ONUs à ODN é feita via uma ou duas fibras, dependendo do esquema de transmissão bidireccional adoptado (duplex, diplex or simplex). É permitido o uso de um número maior de fibras para fins de ampliação ou de protecção.

A configuração da ODN deve ser ponto-multiponto, onde um número de ONUs são conectadas à OLT via a ODN. Assim a partilha pelas ONUs do meio óptico e dos dispositivos optoelectrónicos da OLT é conseguido.

Podem ser definidas duas arquitecturas básicas ponto-multiponto para a ODN: estrela e bus.

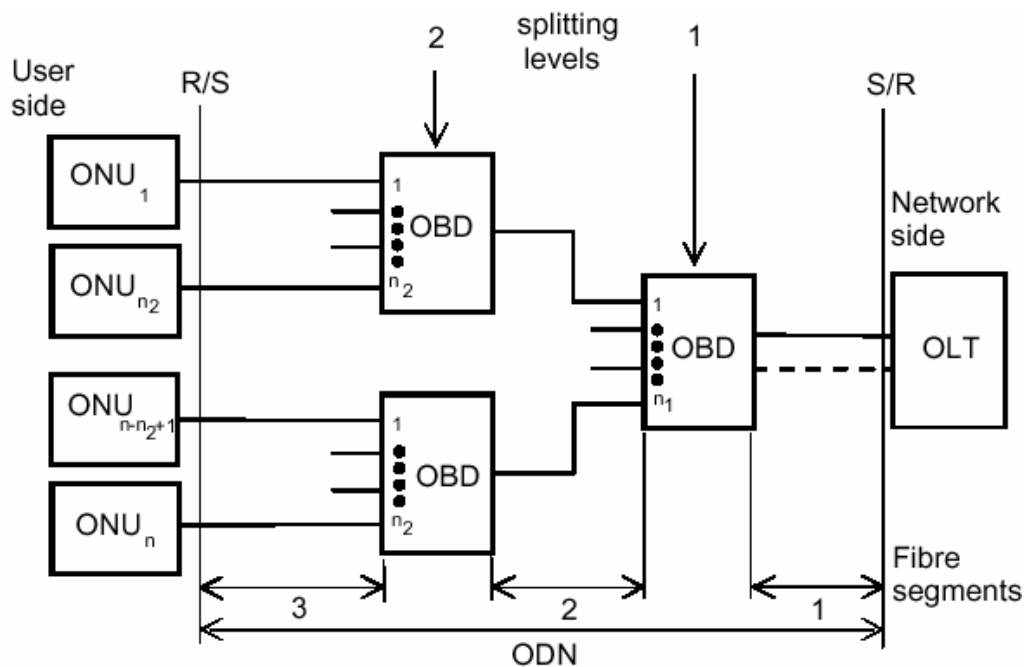
Na figura 2 é mostrado um exemplo de uma arquitectura em árvore. São utilizados ramificadores ópticos e cascata para repartir o sinal *downstream* e para combinar os sinais *upstream*. Os ramificadores ópticos são geralmente do tipo 1:n.

OBD – Repartidor óptico

Figura 2 - Exemplo de arquitectura ODN em estrela

Par atingir um desempenho e fiabilidade elevados da rede (p. ex. entrada de sinais adicionais, pontos de aceso para teste e monitorização, protecção da rede por meio de diversidade de caminhos, etc.) podem ser usados ramificadores ópticos do tipo h:n, em que $1 < h \leq n$.

Em geral os ramificadores ópticos usados na arquitectura em árvore são dispositivos equilibrados, isto é, as perdas ópticas de uma porta de entrada para qualquer porta de saída é nominalmente a mesma para qualquer delas. Este requisito é importante para permitir definir regras simples de cálculo de orçamento de potência e de projecto geral de rede.

Nesta norma (ETS) a configuração ponto-a-ponto, onde a ONU é conectada à OLT via ODN, é considerada como um caso particular da implementação ponto-multiponto. Neste caso não há ramificadores ópticos na ODN e um link óptico dedicado, consistindo de uma ou mais fibras, conecta cada ONU à OLT (figura 3). Esta configuração é chamada arquitectura em estrela simples, permitindo que o comprimento máximo da fibra entre a OLT e a ONU seja maior do que a da configuração ponto-multiponto.

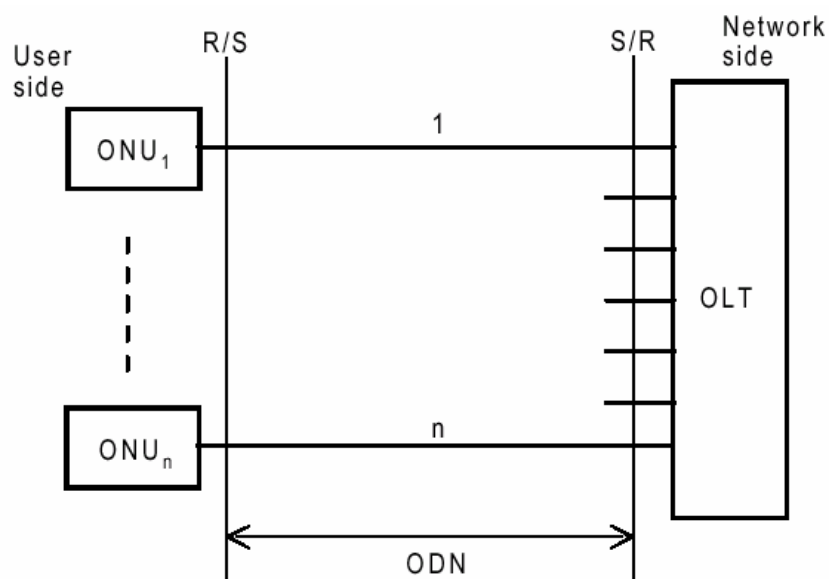



Figura 3 - Exemplo de arquitectura ODN em estrela simples

A arquitectura em bus com utilização de ramificadores ópticos não equilibrados é mostrada na figura 4. O bus pode terminar na última ONU conectada, ou ser "fechada" sobre a própria OLT (por exemplo para fins de protecção ou monitorização). Os ramificadores ópticos não equilibrados são empregues para recolher do bus óptico o sinal transmitido pelo OLT, e para inserir no bus o sinal transmitido pelo OLT, e para inserir no bus o sinal transmitido por cada ONU. Os ramificadores ópticos não equilibrados introduzem uma pequena perda no bus, e consequentemente retiram do bus uma pequena quantidade de potência. A relação de repartição é determinada por requisitos específicos da arquitectura, tais como o número máximo de ONUs e a potência óptica mínima requerida à entrada de cada ONU.

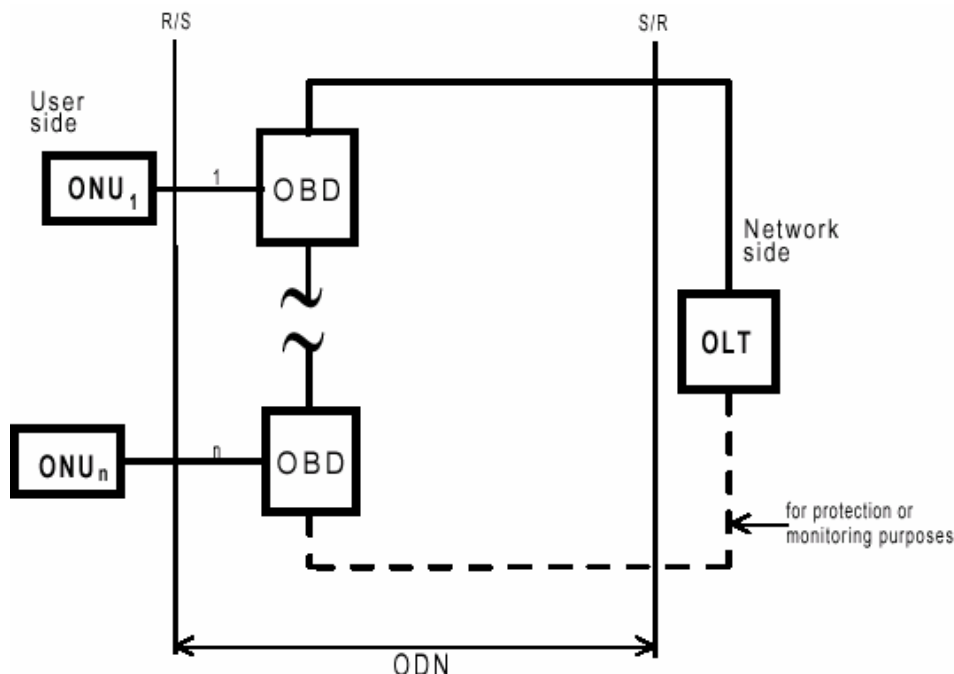



Figura 4 - Exemplo de arquitectura ODN em Bus

2.3 Funções da ODN

São identificadas as seguintes funções são para o ODN:

a) **Conexão óptica directa**: O ODN fornecerá facilidades para a troca directa dos sinais ópticos entre a OLT e o ONU. Esta função não se aplica ao ponto à configuração ODN ponto-a-ponto, pois esta não contém ramificadores ópticos.

b) **Repartição/combinação (*Splitting/combining*) óptico**: A repartição é executada nos sinais downstream e combinada nos sinais upstream, por meio dos ramificadores ópticos.

c) **Potencialidade de transporte óptico multi-wavelength**: O ODN permitirá a transmissão simultânea na mesma fibra de sinais com diferentes comprimentos de onda, quer na direcção downstream quer upstream.

d) **Pontos de monitorização ópticos**: A localização dos pontos de acesso para teste e monitorização óptica de ODN e as medidas realizadas no ODN, não deverão degradar a operação da ligação do acesso. Os pontos de acesso devem ser fornecidos no OAN. Os pontos de acesso podem ser localizados no OLT, nas ONUs ou pontos intermediários no ODN. Nos pontos de acesso equipamento de teste óptico tal como OTDRs (*Optical Time Domain Reflectometers*) e medidores ópticos de potência podem ser conectados. As medidas de potência podem ser realizadas em terminações da fibra ou ao longo da fibra usando o equipamento de medição apropriado.

e) **Interface ópticas**: O ODN fornecerá funções físicas da interface para a conexão óptica ao OLT e ONUs.

2.4 Gamas de comprimentos de onda

Os comprimentos de onda usados no ODN estarão em 1310 nm (na 2ª janela) e em 1550 nm (3ª janela). São apresentadas na tabela seguinte algumas possibilidades para a atribuição do comprimento de onda para serviços interactivos.

Tabela 1- Comprimentos de onda para serviços interactivos.

Esquema de transmissão bidireccional	Número de Fibras	Comprimento de onda	Técnica de transmissão	Futuras Implementações
Simplex	2	1 310 nm upstream; 1 310 nm down	SDM	
Duplex	1	1 310 nm upstream; 1 310 nm down	FDM/TCM	
Diplex	1	1 310 nm upstream; 1 550 nm down	WDM	1 310 nm upstream; 1 310 nm downstream

2.5 Especificação do caminho óptico

A ODN é constituída por P níveis de repartição, embora tipicamente se adoptem apenas um ou dois níveis. Na ODN podem ser identificados vários caminhos ópticos, em que cada caminho óptico conecta uma ONU específica ao OLT.

O caminho óptico entre a OLT e a ONU, ou mais geralmente, entre os pontos de referência S/R e R/S, é formado por uma cascata de P elementos de caminhos ópticos.

Na figura 5, que dá a uma representação esquemática do caminho óptico downstream entre a OLT e um ONU específico, ou mais geralmente entre os pontos de referência S/R e R/S, o nível de repartição P-th é mostrado como uma cascata de P elementos de caminhos ópticos.

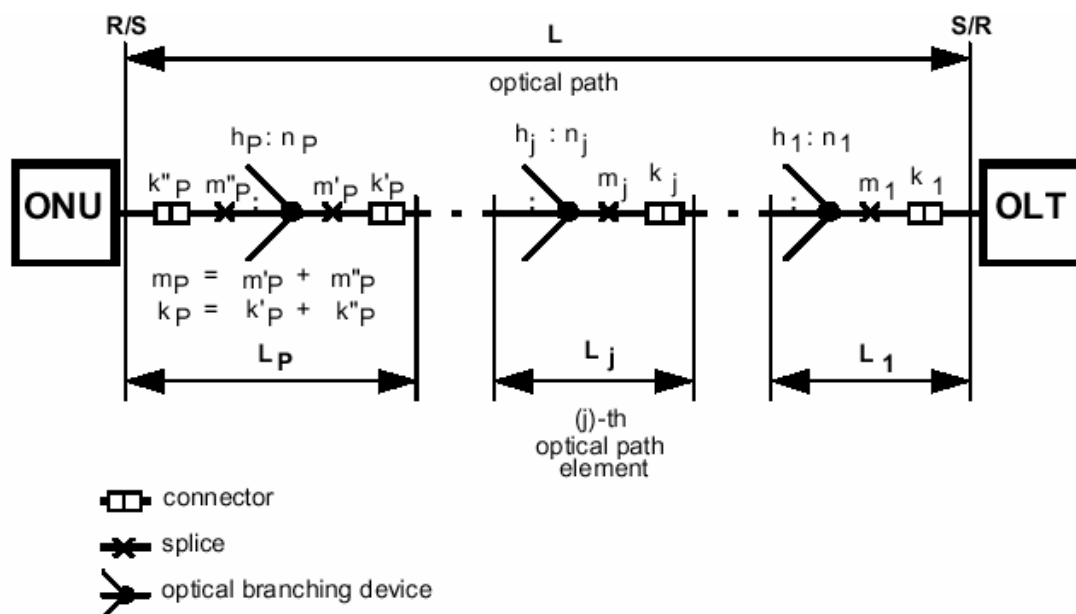



Figura 5 - Esquema de caminhos ópticos entre a OLT e a ONU

O (j)-th elemento de caminho óptico consiste de fibra óptica de comprimento Lj e dos seguintes componentes ópticos passivos (a sequência de componentes em cada elemento do caminho é arbitrária):

- (j)-th ramificador óptico com rácio de repartição hj:nj (hj ≥ 1, nj ≥ 1);

- kj conectores, com kj ≥ 0;

-mj splices

2.6 Especificação de perdas

O nível de perdas para o orçamento de potência óptica é definida como as perdas, em dB, entre pontos de referência, no S/R e no R/S do ODN. Isto inclui a perda devido ao comprimento da fibra e aos componentes ópticos passivos (por exemplo ramificadores, splices e conectores ópticos). O nível de perdas tem o mesmo valor na direcção downstream e upstream.

A perda óptica de um caminho óptico da ODN é calculada adicionando as perdas de todos os ópticos dos componentes ao longo do caminho óptico.

Será usada uma abordagem estatística para a soma de perdas, a fim evitar uma sobre-especificação do ODN. A distribuição estatístico da perda total do caminho óptico será obtida combinando as distribuições estatísticas das perdas dos vários componentes do caminho óptico.

Os casos piores e melhores das perdas do caminho óptico são calculados, respectivamente, subtraindo ou adicionando ao valor médio do distribuição resultante, um valor igual a três vezes o desvio padrão. No caso de ser usada uma distribuição gaussiana de perdas de todos os componentes envolvidos, a distribuição estatístico global de perdas do caminho total não necessita de ser calculado e a configuração, sendo o caso pior e melhor do caminho óptico calculada directamente como se indica:

worst case loss =

$$(mS_\mu + kC_\mu + LF_\mu + bB_\mu + M_\mu) + 3\sqrt{(mS_\sigma^2 + kC_\sigma^2 + LF_\sigma^2 + bB_\sigma^2 + M_\sigma^2)};$$

best case loss =

$$(mS_\mu + kC_\mu + LF_\mu + bB_\mu + M_\mu) - 3\sqrt{(mS_\sigma^2 + kC_\sigma^2 + LF_\sigma^2 + bB_\sigma^2 + M_\sigma^2)}.$$

- m = número de splices;
- k = número de conectores;
- L = tamanho da fibra (km);
- b = número de ramificadores ópticos;

-S m = perda média de splice (dB);

-C m = perda média de conector (dB);

-F m = perda média de fibra (dB/km);

-B m = perda média de ramificador óptico (dB);

-M m = perda média de dispositivo diverso (dB);

-S s = desvio padrão de perdas de splice (dB);

-C s = desvio padrão de perdas de connector (dB);

-F s = desvio padrão de perdas de fibra (dB/km);

-B s = desvio padrão de perdas de repartidor óptico (dB);

-M s = desvio padrão de perdas de dispositivo diverso (dB) .

A fim de limitar o número de diferentes implementações possíveis, são especificadas três classes para as perdas dos caminhos ópticos, indicadas na tabela seguinte.

Tabela 2 – Classes de perdas

	Classe A	Classe B	Classe C
Perda mínima (dB)	5	10	15
Perda máxima (dB)	20	25	30

2.7 Componentes ópticos passivos

A atenuação na fibra é especificada em EN 188101 para as regiões de 1550 nm e 1310 nm. Para fibra óptica em cabos os coeficientes de atenuação são especificados em EN 187101 e em EN 187102. O atraso de transmissão óptica na fibra é de aproximadamente 5 ns/m.

As características dos ramificadores ópticos para dupla janela e rácio de repartição h:n estão em estudo. De igual modo estão em estudo as características dos splices e atenuadores. As especificações dos conectores estão definidas em ETS 300 671.

2.8 Arquitecturas da rede de acesso óptica

A parte óptica de uma Rede de Acesso pode ter três tipos de arquitectura:

- ponto-a-ponto
- ponto a multiponto passiva
- ponto a multiponto activa

A Figura 7 mostra diferentes arquitecturas alternativas de acordo com a extensão da fibra na rede de acesso:

- Fibre to the Home (FTTH)
- Fibre to the Building/Curb (FTTB/C)
- Fibre to the Cabinet (FTTCab).

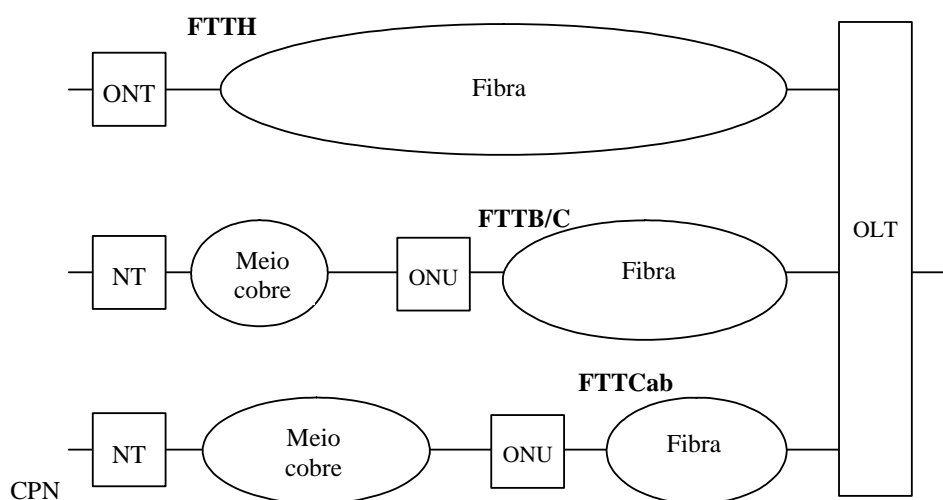



Figura 6 - Arquitecturas de rede de acesso óptica (OAN)

As opcões de rede FTTB/C e FTTCab diferem apenas na implementação no terreno, pelo que serão analisadas conjuntamente.

No cenário FTTCab/C/B são consideradas as seguintes categorias de serviços:

Serviços de banda larga assimétricos (p.ex. VoD, acesso Internet de banda larga, ensino a distância, telemedicina)

Serviços de banda larga simétricos (p.ex. serviços de telecomunicações para pequenas empresas, teleconsultoria)

PSTN e ISDN. A rede de acesso deverá permitir serviços telefónicos de modo flexível, apropriados à implementação.

No cenário FTTH os serviços são semelhantes aos do cenário anterior, tendo este cenário as seguintes vantagens:

Podem-se instalar ONU interiores, com vantagens ambientais

Não é necessário mudar as ONU intermédias para melhorar a rede de acesso de modo a permitir a evolução dos serviços de banda larga e multimédia

A manutenção é mais fácil, uma vez que os sistemas de fibra são mais fiáveis que os sistemas híbridos fibra-metálicos

FTTH potencia o desenvolvimento de tecnologias opto-electrónicas e a sua redução de preço devido ao aumento do volume de produção.

A exploração integral destes factores permitirá compensar os custos por linha mais elevados do FTTH, permitindo encará-lo como uma opção viável no curto/médio prazo.

Na figura seguinte mostram-se as várias configurações de FTTx de acordo com o grupo Full Services Access Networks (FSAN).

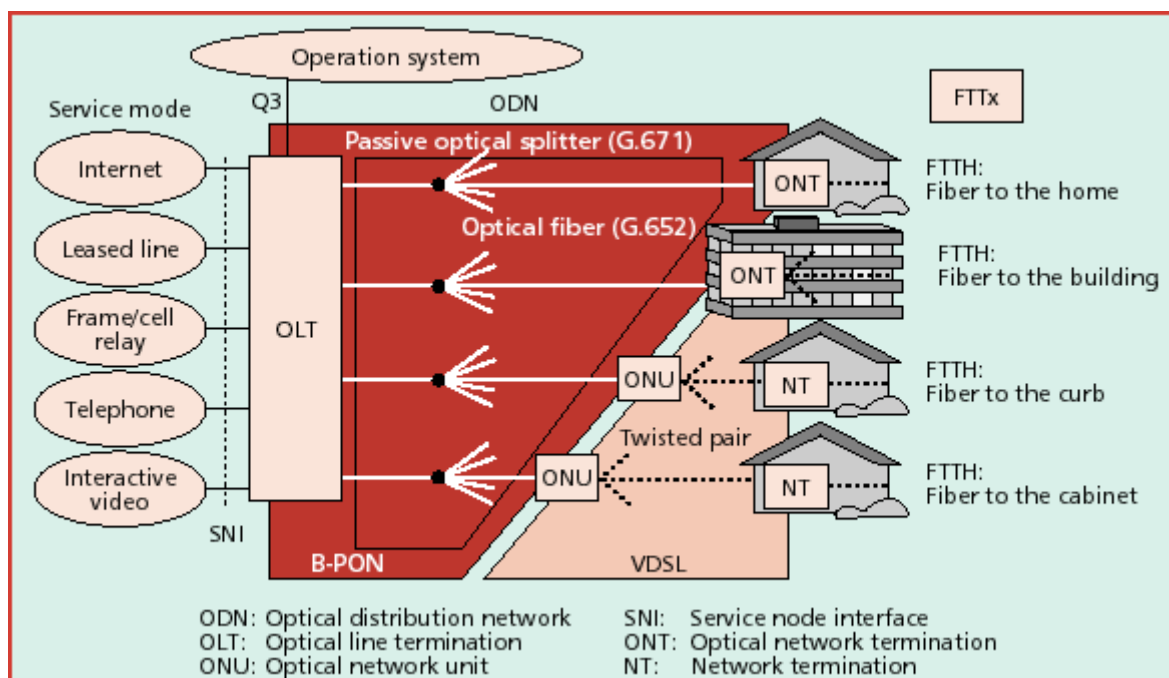



Figura 7 – Conceito de FTTx segundo o grupo FSAN

2.9 Rede Óptica Passiva (PON)

Para viabilizar a utilização de fibra na rede de acesso, foi desenvolvido uma configuração denominada "*Passive Optical Network*" (PON). Em sistemas PON todos os elementos activos entre o provedor de serviço e o utilizador são eliminados ganhando em simplicidade, fiabilidade, custo de operação e manutenção.

Neste sistema, vários utilizadores partilham a mesma fibra. A largura de banda pode assim ser atribuída conforme necessário para cada utilizador. Um protocolo eficiente pode tornar o sistema mais rentável ao utilizar ao máximo os recursos disponíveis.

Há actualmente duas tecnologias principais de suporte a PONs:

Rede Óptica Passiva baseada em ATM (APON)

Rede Óptica Passiva baseada em Ehernet (EPON)

No capítulo seguinte será analisada em detalhe a arquitectura da APON.

3 Rede Óptica Passiva ATM (APON)

O ETSI definiu na TS 101 272, "*ATM Passive Optical Networks (PONs) and the transport of ATM over digital subscriber lines*" [2], uma especificação detalhada de uma rede óptica passiva (PON) baseada em tecnologia ATM e numa técnica de acesso múltiplo TDMA.

Este sistema é aplicável a diferentes arquitecturas de rede, nomeadamente *Fibre to the Cabinet* (FTTCab) e *Fibre to the Home* (FTTH).

São igualmente identificados cenários evolutivos híbridos, nomeadamente redes *Hybrid fibra óptica - Twisted Pair* (HFTP) e *Hybrid fibra óptica - Coaxial* (HFC).

A figura 8 apresenta uma segmentação usual da rede de acesso óptica, incluindo uma parte óptica (ODN) ligada ao Core e uma parte ligada ao cliente que pode ter diferentes meios de transmissão, nomeadamente par entrançado, cabo coaxial ou rádio.

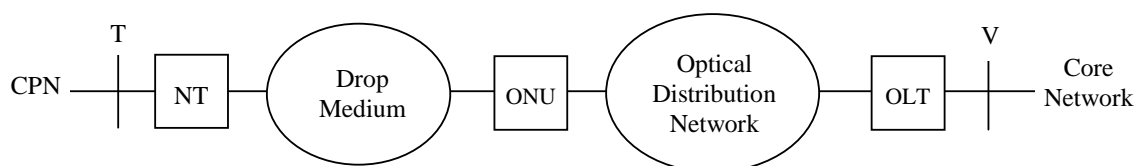



Figura 8 - Segmentação da rede de acesso óptica (OAN) segundo o ETSI

3.1 Configuração de Referência

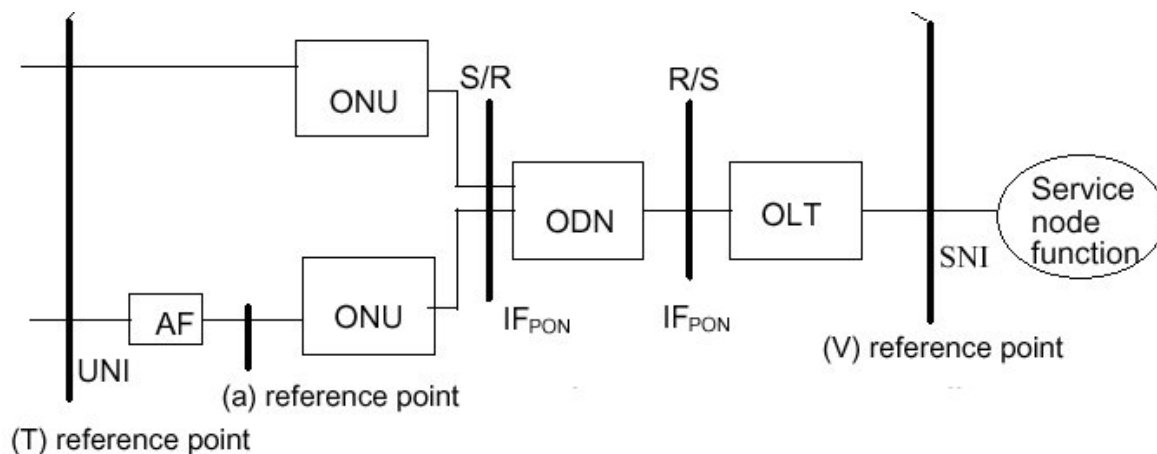
A configuração de referência da APON definida na G.983-1 é mostrada na figura seguinte. A ODN oferece um ou mais caminhos ópticos entre uma OLT e uma ou mais ONUs. Cada caminho óptico é definido entre os pontos de referência S e R numa janela de comprimento de onda especificado.

AF: Adaptation Function

Figura 9 - Configuração de Referência para uma PON baseada em ATM

Este sistema consiste de *Optical Line Terminal* (OLT), *Optical Network Unit* (ONU) e cabo de fibra com configuração de *Passive Optical Network* (PON). Uma fibra é dividida passivamente por múltiplas ONUs, as quais partilham a capacidade de uma fibra. Devido à divisão passiva, são necessárias acções especiais para garantir privacidade e segurança. Para além disso, na direcção upstream é necessário um protocolo de acesso ao meio (*Medium Access Control - MAC*) para evitar colisões nos dados upstream.

3.2 Blocos funcionais

3.2.1 Optical Line Termination (OLT)

A terminação óptica da linha (OLT) está entre a interface SNI dos Nós de Serviço e a PON. O OLT é responsável para gerir todos os aspectos específicos do sistema do transporte ATM da PON e, juntamente com a ONU, é responsável para providenciar o serviço de transporte ATM transparente entre as UNIs e o SNI sobre o PON.

3.2.2 Optical Network Unit (ONU)

A unidade de rede óptica (ONU) fica situada entre a IF PON que liga à OLT e a UNI. Juntamente com a OLT, a ONU é responsável para fornecer o serviço transparente de transporte ATM entre a UNI e o SNI. Nesta arquitectura, os protocolos de transporte ATM na IF PON consistem na camada física dependente do meio (PMD), na camada da convergência de transmissão (TC) e na camada ATM. Esta arquitectura só se refere ao transporte de ATM. Para detalhes adicionais consultar a recomendação I.732 de ITU-T.

A camada física dependente do meio inclui os esquemas da modulação para ambos os canais upstream e downstream, que podem ser diferentes em cada sentido. A especificação permite definir mais de um tipo de camada física dependente do meio em cada direcção. A camada da convergência de transmissão será responsável para controlar o acesso distribuído ao recurso upstream da PON através de múltiplas ONUs. Este é um elemento chave do protocolo e afectará directamente o QoS do ATM resultante.

Os protocolos ATM não deverão ser afectados pela sua operação sobre a PON. Em ambas a OLT e ONU, as funções executadas na camada ATM incluem reencaminhamento de células.

A Figura 10 mostra um exemplo de uma ONU no caso de FTTH. A ONU é activa e separa a rede de acesso da rede de distribuição doméstica. As funções de ONU incluem:

- interface da ODN;
- interface de serviço;
- multiplexing/demultiplexing de transmissão;
- multiplexing/demultiplexing de clientes e serviços
- fornecimento de energia.

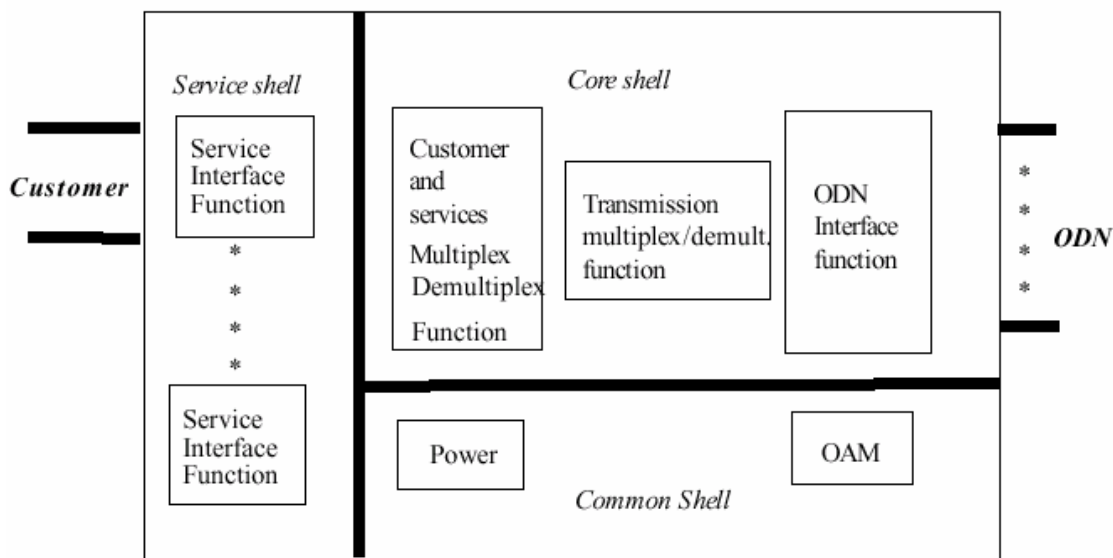



Figura 10 - Exemplo de blocos funcionais de ONU

O módulo *ODN interface function* assegura o processo de conversão opto-electrónico. Este módulo extrai as células ATM do canal PON downstream e introduz células ATM no canal ATM upstream, baseado na sincronização adquirida do sincronismo de trama downstream.

O módulo *Transmission multiplex/demultiplexing* (MUX) multiplexa o tráfego das interfaces de serviço para a interface ODN. Só as células ATM válidas passam através do MUX. Deste modo muitos VPs pode compartilhar eficazmente as larguras de banda upstream atribuídas a cada um.

O módulo *Service Interface function* implementa a interface UNI com um terminal ATM. Este módulo pode assegurar a inserção de células ATM no canal usptream e a extração de células ATM do canal downstream.

3.2.3 Optical Line Termination (OLT)

O OLT é conectado às redes comutadas através de interfaces normalizadas (VB5.x, V5.x). No lado de distribuição, apresenta acessos ópticos de acordo com os requisitos acordados, em termos de débitos, orçamento de potência, etc.

A Figura 11 mostra um exemplo dos blocos funcionais de um OLT. O OLT inclui funções das interfaces tributárias, das interfaces ODN e funções de multiplexing/demultiplexing para comutação de VPs. Esta função não impossibilita funções ao nível de canais virtuais (VC) na OLT, que são contudo deixadas para estudo posterior.

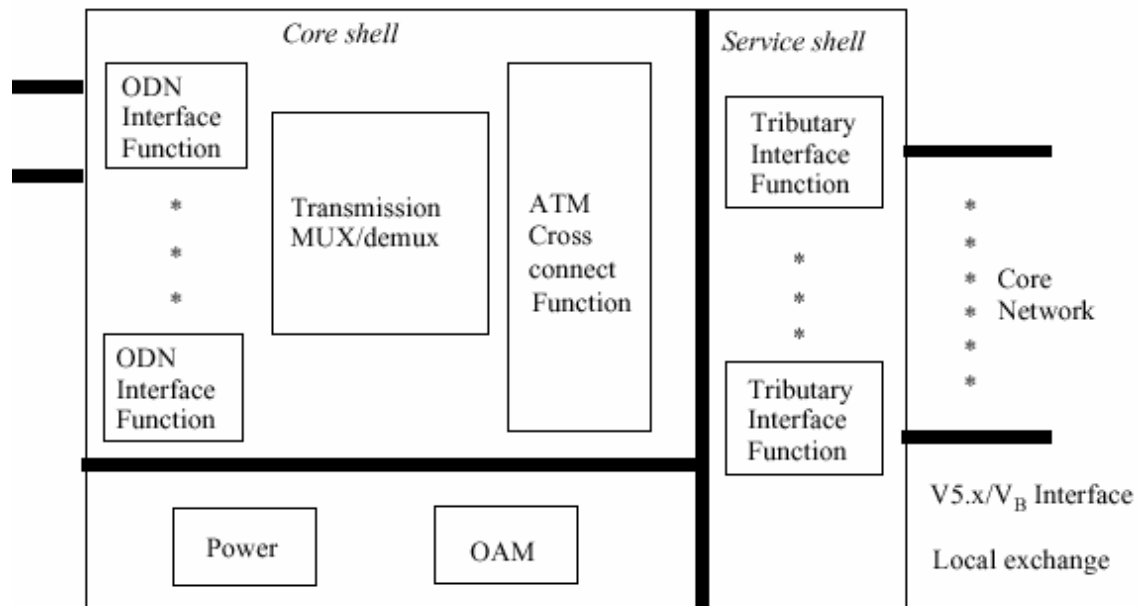



Figura 11 - Exemplo de blocos funcionais de OLT

O módulo *Tributary interface functions* tem interface com um ou vários Nós de Serviço. Este módulo assegura a inserção de células ATM no canal upstream SDH e na extracção de células ATM do canal downstream do SDH. Este módulo ode ser duplicado no caso de ser necessário mecanismos de protecção de falhas.

O módulo de MUX fornece as conexões VP entre uma função de interface do tributário e a função de interface de ODN. A informação de dados plano do utilizador, sinalização e fluxos de OAM é trocada usando VCs do VP.

O módulo *ODN interface function* assegura o processo de conversão opto-electrónica. Este módulo insere células ATM no canal downstream da PON e extrai células ATM do canal upstream da PON.

3.2.4 Optical Distribution Network (ODN)

Em geral a ODN fornece os meios ópticos de transmissão para a conexão física das ONUs aos OLTs. As ODNs individuais podem ser combinados e estendidas com a utilização de amplificadores ópticos (G.982).

A ODN pode incluir elementos ópticos passivos como:

- fibra óptica single-mode e cabos;

- fitas de fibra óptica e cabos de fita;

- conectores ópticos;

- ramificadores passivos;

- atenuadores ópticos passivos;

- junções (splices).

A Figura 11 mostra a configuração física genérica da ODN.

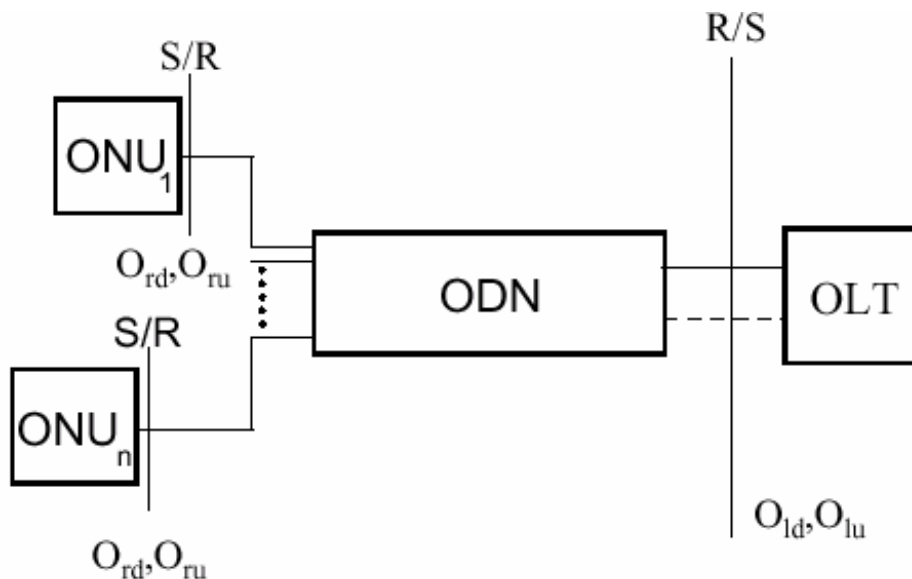



Figura 12 - Configuração física genérica da ODN

As características básicas da ODN já foram apresentadas no capítulo 2, pelo que não são aqui detalhadas. Relativamente à interfaces, a Figura 12 apenas detalha as interfaces nos sentidos upstream e downstream. (O_{ru} , O_{rd} , O_{lu} , O_{ld}).

3.3 Estrutura de protocolos da APON

O modelo da referência de protocolos da APON é dividido em camada Física e ATM, analogamente a G.902, I.326, G.982. Um exemplo de camadas protocolares APON é na tabela seguinte. Na APON a camada *Path* corresponde ao VP da camada do ATM. A camada *Section* é dividida em PON transmissão e em subcamadas de adaptação, que correspondem ao sub-layer da convergência de transmissão do B-ISDN na recomendação I.321 de ITU-T. O sublayer de PON transmissão termina a função requerida de transmissão no ODN. As funções específicas de PON são terminadas pela subcamada de PON transmissão, não sendo vistas da subcamada de adaptação.

Tabela 3 - Estrutura de camadas da rede ATM-PON

<table>
<tr><th>Camada</th><th>Subcamada</th><th>Sub-subcamada</th><th>Funções</th></tr>
<tr><td colspan="3">(ATM VP) Path layer</td><td>Ver I.732</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Transmission medium</td><td rowspan="2">Section layer
(Transmission Convergence)</td><td>Adaptation</td><td>Ver I.732</td></tr>
<tr><td>PON transmission</td><td>Ranging
Cell slot allocation (“MAC”)
Bandwidth allocation “
Privacy and security
Frame alignment
Burst synchronization
Bit/byte synchronization</td></tr>
<tr><td colspan="2">Physical medium dependent</td><td>E/O adaptation
Wavelength division multiplexing
Fibre connection</td></tr>
</table>

Analisamos em seguida as duas camadas básicas da APON, *physical medium dependent* e *section layer*.

3.3.1 Camada dependente do meio físico ATM-PON

O débito de transmissão na linha terá os seguintes valores nominais:

1: Simétrico, para FTTCab/C/B/H: - 155.52 Mbit/s,

2: Assimétrico, para FTTCab/C/B: - 155.52 Mbit/s upstream, 622.08 Mbit/s downstream.

Há 4 tipos do ONUs, que são distinguidos pelos débitos de 155.52 Mbit/s e 622.08 Mbit/s e pelas perdas ópticas do caminho da classe B e classe C. Na secção óptica o objectivo de taxa de erro (Bit Error Ratio - BER) máximo é de 1 x 10^{-10} para o pior caso de dispersão e atenuação do caminho óptico.

Os sinais são transmitidos upstream e downstream através do meio de transmissão. A transmissão bidireccional é realizada através da técnica de multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM), empregando comprimentos de onda nas regiões de 1310 nm e 1550 nm em uma única fibra, ou por transmissão unidireccional em um cada de duas fibras (transmissão simples) na região de 1310 nm.

A codificação de linha uspstream e downstream é NRZ, em que o nível elevado de luz corresponde ao 1 binário e o nível baixo ao 0 binário.

Na direcção downstream a gama de gama de comprimentos de onda para em fibra única deverá ser de 1480 nm a 1580 nm. Com duas fibras deverá ser na gama de 1260 nm to 1360 nm. Na direcção upstream a gama de gama de comprimentos de onda deverá ser de 1260 nm a 1360 nm.

3.4 Camada Convergência de Transmissão para ATM-PON

Na tabela seguinte apresentam-se os requisitos básicos da camada de Convergência de Transmissão para ATM-PON.

Tabela 4: Requisitos da camada TC de ATM-PON

Cell rate decoupling	I.432.1
Correcção de erros do HEC	I.432.1
Número máximo de caminhos virtuais por PON	4 096
Capacidade mínima de endereçamento	64 ONUs

As PON podem usar os 12 bits de endereço do campo VP do cabeçalho das células ATM, tal como é usado na interface VB5, (Figura 14). Os valores de VPI na PON não têm de ser iguais aos valores de VPI na VB5 porque o OLT tem funcionalidades de *cross-connect*. O limite de até 4096 VPs evita grandes tabelas na ONU e permite o uso eficiente dos recursos da PON.

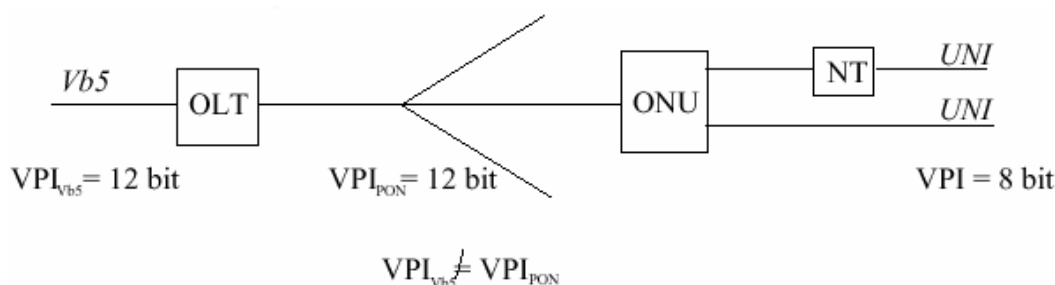



Figura 13 - Utilização de VP na PON

O sinal downstream é difundido (broadcast) a todas as ONUs na PON. Cada transmissão upstream de cada ONU é controlada pela OLT e é concedido pelo downstream usando a técnica de multiplexagem por divisão no tempo (TDMA). Deve ser minimizado o overhead da trama de transmissão para maximizar a capacidade dos canais downstream e upstream. O sistema deve ter capacidade para garantir o transporte de informação de desempenho do sistema e as funções de OAM. É expectável que o sistema tenha uma capacidade do payload equivalente a uma capacidade VC4 de SDH no canal downstream da APON.

Na interface downstream são transferidas células ATM de informação, de sinalização, gestão e células vazias de preenchimento de canal. A capacidade de transferência para a interface de 155.52 Mbit/s é 149.97 Mbit/s (155.52 x 54/56). A capacidade de transferência para a interface de 622.08 Mbit/s é 599.86 Mbit/s.

Na interface upstream são transferidas células ATM de informação, as células PLOAM, as unidades do acesso do pedido (RAUs) para o canal MAC e os bytes de overhead que são adicionados à frente de cada célula ATM, PLOAM ou RAU. A capacidade de transferência para a interface de 155.52 Mbit/s tem um limite superior de 147.2 Mbit/s (155.52 x 53/56 Mbit/s). É atribuída pelo OLT uma largura de banda extra para o canal upstream para o PLOAM, o para o canal MAC. A capacidade upstream é partilhada entre as ONUs com base nas respectivas bandas atribuídas.

3.4.1 Estrutura da trama TC

A estrutura downstream da interface para 155.52 Mbit/s e 622.08 Mbit/s consiste numa sequência contínua de timeslots, em que cada timeslot contém 53 octetos de uma célula ATM ou uma célula PLOAM. Cada 28 timeslots é introduzida uma célula PLOAM.

Na interface de 155 Mbit/s a trama downstream contém 2 células PLOAM e tem comprimento de 56 slots. Para a interface de 622 Mbit/s a trama downstream contém 8 células PLOAM e tem comprimento de 224 slots.

Trama PON simétrica de 155 Mbit/s

Na direcção upstream a trama contém 53 slots de 56 bytes. A OLT pede à ONU para transmitir uma célula ATM através das concessões feitas nas células downstream PLOAM. Com ritmo programável, a OLT pede a uma ONU para transmitir uma célula PLOAM ou um minislot. O débito upstream de PLOAM depende da funcionalidade requerida contida nas células PLOAM. O débito mínimo por ONU é uma célula PLOAM cada 100 ms. O OLT define a largura de banda atribuída aos minislots uspstream.

As células de PLOAM são usadas para transportar a informação OAM da camada física. Para além disso elas transportam as concessões usadas pelas pelas ONUs para o acesso upstream.

Um divided_slot ocupa um slot temporal upstream completo e contém um número de minislots de um conjunto de ONUs. O protocolo MAC usa-os para transferir para o OLT o estado das filas dos ONUs, a fim executar uma atribuição dinâmica da largura de banda.

O formato da trama downstream e upstream para a PON simétrica é mostrado na Figura 14.

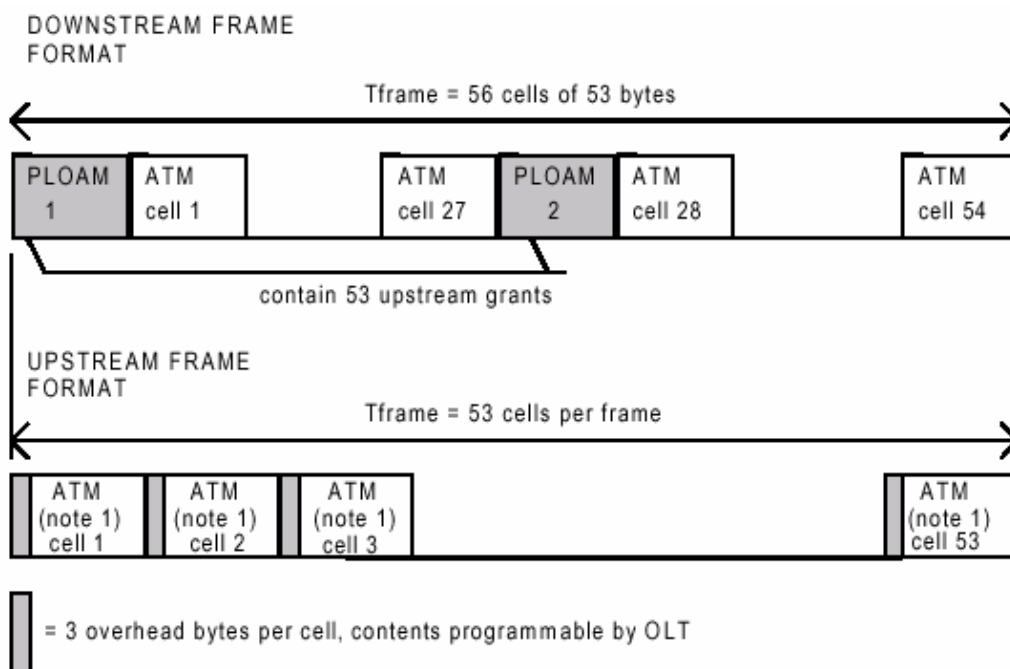



Figura 14 - Formato de trama para PON a 155.52 Mbps

Os bytes de overhead da trama upstream são listados na tabela seguinte.

Tabela 5 - Bytes de overhead da trama upstream

Campo	Objectivo
Guard time	Proporciona distância entre duas células ou dois minislots consecutivos para evitar colisões.
Preamble	Extrai a fase da célula ou do minislot recebido em relação ao sincronismo local do OLT, e/ou adquire a sincronização de bit e a recuperação da amplitude.
Delimiter	Um teste padrão único que indica o começo da célula ATM ou do minislot, que pode ser usado para sincronização de byte.

O comprimento mínimo do tempo de guarda é 4 bits. O oberhead total é 24 bits. O comprimento do tempo de guarda, o padrão de teste do preamble e o teste padrão do delimitador são programáveis sob controlo do OLT. O conteúdo destes campos é definido pela mensagem de Upstream_overhead nas células downstream de PLOAM.

Trama PON assimétrica de 622/155 Mbit/s

Na trama PON para 622/155 Mbit/s o ritmo downstream é exactamente quatro vezes o da PON simétrica, tal como se mostra na Figura 15.

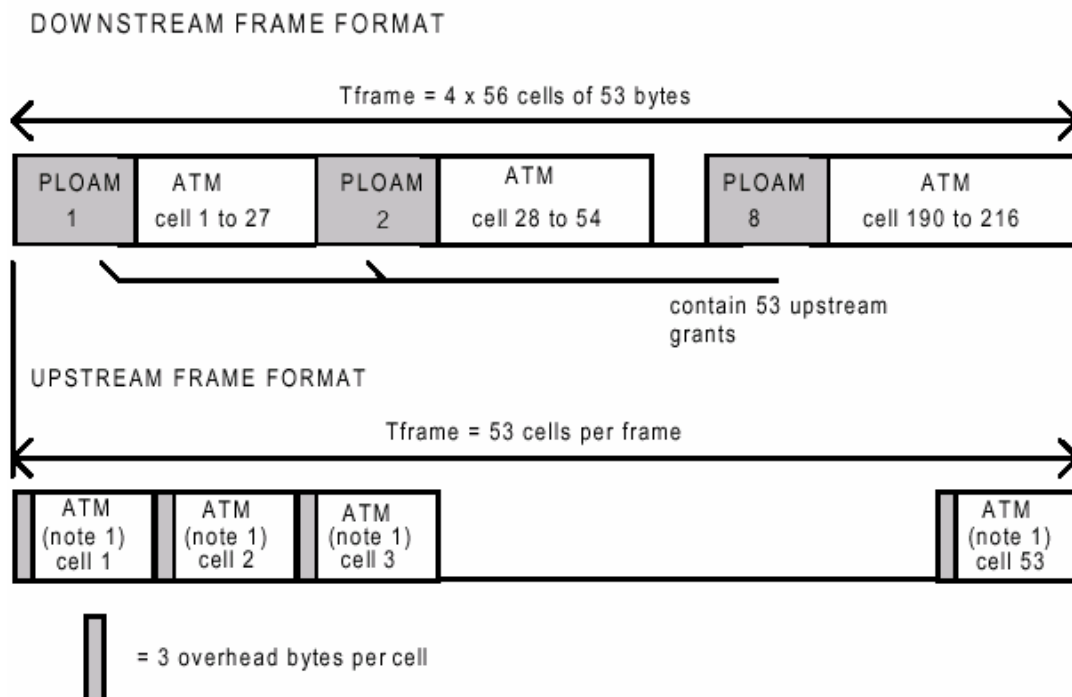



Figura 15 - Formato de trama para PON de 622.08 Mbps/155Mbps

3.4.2 Downstream PLOAM structure

A I.432.1 identifica três tipos de fluxos PLOAM transportados por células de manutenção usando um padrão específico no cabeçalho. O fluxo F3 especifica o padrão do cabeçalho ATM para o nível *path* (VP) como: 00000000 00000000 00000000 00001001 HEC=01101010.

A tabela 6 mostra o conteúdo da célula PLOAM downstream. O número que antecede o nome do campo indica a posição do campo na célula, de 1 a 48 bytes.

Tabela 6 – Conteúdo da célula PLOAM downstream

1 IDENT	13 GRANT9	25 GRANT20	37 MESSAGE_FIELD1
2 SYNC1	14 GRANT10	26 GRANT21	38 MESSAGE_FIELD2
3 SYNC2	15 GRANT11	27 CRC	39 MESSAGE_FIELD3
4 GRANT1	16 GRANT12	28 GRANT22	40 MESSAGE_FIELD4
5 GRANT2	17 GRANT13	29 GRANT23	41 MESSAGE_FIELD5
6 GRANT3	18 GRANT14	30 GRANT24	42 MESSAGE_FIELD6
7 GRANT4	19 CRC	31 GRANT25	43 MESSAGE_FIELD7
8 GRANT5	20 GRANT15	32 GRANT26	44 MESSAGE_FIELD8
9 GRANT6	21 GRANT16	33 GRANT27	45 MESSAGE_FIELD9
10 GRANT7	22 GRANT17	34 CRC	46 MESSAGE_FIELD10
11 CRC	23 GRANT18	35 MESSAGE_PON_ID	47 CRC
12 GRANT8	24 GRANT19	36 MESSAGE_ID	48 BIP

Cada célula PLOAM é preenchida com 27 concessões (*grants*). Estas concessões são usadas pela ONUs para o acesso na fibra upstream. Por cada trama são necessários 53 concessões, as quais são inseridas nas primeiras duas células de PLOAM do frame downstream. Todas as 53 concessões são activas (*non-idle*). A última concessão da segunda célula de PLOAM é preenchida com uma concessão inactiva (*idle*). Todos da concessão os campos das seis células restantes de PLOAM para o caso assimétrico são preenchidas com as concessões inactivas e portanto não serão usados pela ONU. O comprimento de uma concessão é de 8 bit. Os tipos seguintes são definidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Especificação das concessões (*grants*)

Tipo	Codificação	Definição
Data grant	Qualquer valor excepto: 11111101 11111110 11111111	Para indicar uma concessão de dados upstream específica de uma ONU. O valor da concessão de dados é atribuído à ONU durante o protocolo *ranging* com a mensagem de grant_allocation. A ONU pode enviar uma célula de dados ou uma pilha inactiva se não tiver célula de dados disponível.
PLOAM grant	Qualquer valor excepto: 11111101 11111110 11111111	Para indicar uma concessão PLOAM upstream específica de uma ONU. O valor da concessão da PLOAM é atribuído à ONU durante o protocolo *ranging* com a mensagem de grant_allocation. A ONU envia sempre uma célula PLOAM em resposta a esta concessão.
Divided_slot grant	Qualquer valor excepto: 11111101 11111110 11111111	Para indicar uma concessão de um divided_slot upstream a um grupo específico de ONUs. O OLT atribui a concessão a um grupo de ONUs usando a mensagem de Divided_slot_grant_configuration. Cada ONU deste conjunto emite um minislot.
Reserved grants	Qualquer valor excepto: 11111101 11111110	Numa versão posterior outros tipos da concessão serão usados para concessões específicas de dados (por exemplo para endereçar uma interface específica de uma ONU ou a uma classe específica de QoS).

	11111111	
Ranging grant	11111101	Usado no processo de *ranging*. A condição para reagir a esta concessão é descrita no protocolo *ranging*.
Unassigned grant	11111110	Para indicar um slot upstream não utilizado.
Idle grant	11111111	Para desacoplar o ritmo do PLOAM downstream do débito de células upstream. Estas concessões são ignoradas pelo ONU

O CRC é utilizado para detecção de erros nos grants. Cada CRC protege um grupo de 7 grants. O polinómio gerador de CRC é: $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$. Este polinómio pode proteger até 15 bytes e tem uma distância de Hamming de 4, podendo detectar erros até 3 bit mas sem possibilidade de correcção.

Os campos MESSAGE_Field transportam os alarmes ou alertas relacionados com OAM provocados por eventos são transportados através das mensagens nas células PLOAM. Todas as mensagens relacionadas com *ranging* também são enviadas no campo da mensagem da célula PLOAM. O processamento de uma mensagem recebida no ONU que se relaciona com o procedimento de *ranging* deve ser completado até ao máximo do período de 6 tramas (6 x Tframe). Estas mensagens também são protegidas por um CRC igual ao das concessões. Se o CRC for recebido com erro a mensagem é rejeitada.

O campo Bit Interleaved Parity (BIP) é usado para monitorização do BER no canal downstream. Um BIP8 de um octeto em cada célula PLOAM cobre (28×53) -1 bytes = 1483 bytes entre dois BIPs consecutivos. Cada um dos bits do octeto BIP8 é o ou exclusivo de todos os bits da mesma posição em todos os octetos cobertos, antes de scrambling. A ONU compara os BIP8 recebidos com os calculados com base nos octetos recebidos. Cada bit que seja diferente é contado, sendo uma boa estimativa do BER verdadeiro, para taxas de erro inferiores a 10^{-4}.

3.4.3 Upstream PLOAM structure

A Tabela 8 mostra o conteúdo da célula PLOAM upstream. O número que antecede o nome do campo indica a posição do campo na célula, de 1 a 48 bytes.

Tabela 8 – Conteúdo da célula PLOAM upstream

1 IDENT	13 MESSAGE_FIELD10	25 LCF11	37 RXCF6
2 MESSAGE_PON_ID	14 CRC	26 LCF12	38 RXCF7
3 MESSAGE_ID	15 LCF1	27 LCF13	39 RXCF8
4 MESSAGE_FIELD1	16 LCF2	28 LCF14	40 RXCF9
5 MESSAGE_FIELD2	17 LCF3	29 LCF15	41 RXCF10
6 MESSAGE_FIELD3	18 LCF4	30 LCF16	42 RXCF11
7 MESSAGE_FIELD4	19 LCF5	31 LCF17	43 RXCF12
8 MESSAGE_FIELD5	20 LCF6	32 RXCF1	44 RXCF13
9 MESSAGE_FIELD6	21 LCF7	33 RXCF2	45 RXCF14
10 MESSAGE_FIELD7	22 LCF8	34 RXCF3	46 RXCF15
11 MESSAGE_FIELD8	23 LCF9	35 RXCF4	47 RXCF16
12 MESSAGE_FIELD9	24 LCF10	36 RXCF5	48 BIP

As células PLOAM são terminadas na camada *Transport Specific TC* da OLT. O conteúdo das células PLOAM é processado desde que a ONUi esteja sincronizada.

Os campos MESSAGE_Field transportam os alarmes ou alertas relacionados com OAM, de modo análogo ao canal upstream.

O campo BIP é usado para monitorização do BER no canal upstream, de modo análogo ao do canal downstream.

Um byte BIP da célula PLOAM é calculado pelo ONU sobre todos os bytes das células enviadas entre dois BIPs consecutivos, exceptuando os bytes de cabeçalhos e os minislots. Tal como no caso downstream, cada dos bits do byte BIP é o ou exclusivo de todos os bits mesma posição em todos os bytes cobertos, antes de scrambling. A cobertura do BIP8 depende do número de células entre dois PLOAMs consecutivos, logo da largura de banda atribuída à ONU. Visto que é a OLT que define o débito de uma cada ONU, pode aumentar esse débito para ter uma maior exactidão das medidas de BER.

O campo *Laser Control Field* (LCF) é usado manter a potência óptica média especificada. Este campo é programado pela ONU pois é ele depende da implementação específica do driver do laser upstream.

O campo *Receiver Control* (*RXCF)* é usado no receptor upstream da OLT para recuperar o nível correcto de dados do sinal analógico de entrada. A OLT programa o padrão de teste usando a mensagem de Upstream_Rx_control.

Os Divided_slots podem existir num slot upstream e contêm um número de minislots provenientes de um conjunto de ONUs. A OLT atribui o divided_slot a este conjunto de ONUs para que elas emitam o seu minislot. O formato do divided_slot é mostrado na Figura 16.

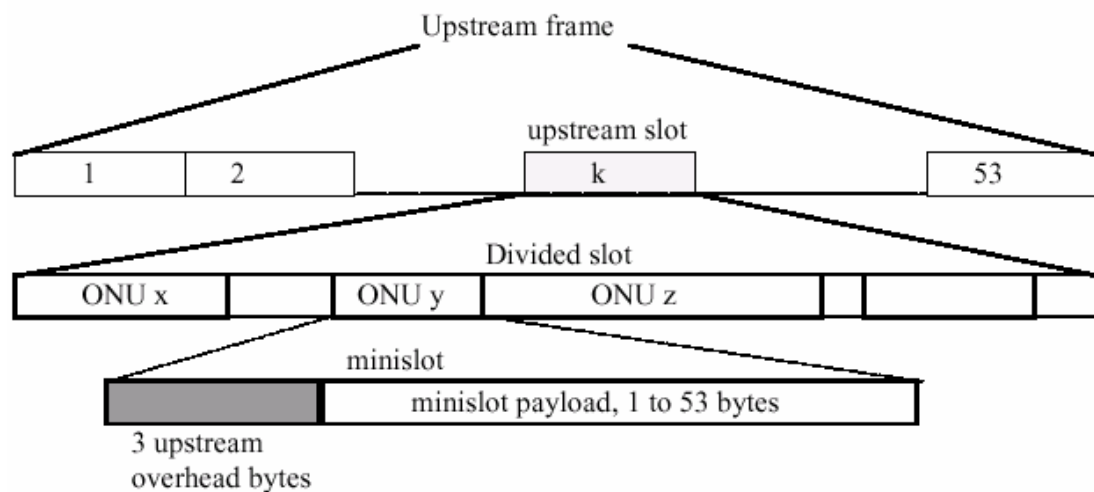



Figura 16 - Formato de Slot dividido

Devido à natureza do multicast da PON, as células downstream são cifradas (*churned*) com uma chave emitida upstream pela ONU. A cifra é executada para ligações downstream ponto-a-ponto e pode ser activada ou desactivada por VP na configuração inicial. A taxa de actualização da chave é de pelo menos 1 segundo por ONU. A função do *churn* usa uma chave de 3 bytes, a qual é fornecida pelo ONU a pedido da OLT. Esta chave é calculada através do ou exclusivo de um número aleatória de 3 bytes com 3 octetos extraídos dos dados upstream do utilizador, para aumentar a segurança. Os 3 bytes do código são definidos como X1 a X8, P1 a P16.

Como se disse acima, a chave de churning é fornecida pelo ONU no pedido da OLT. O processo começa após a recepção da primeira chave de uma determinada ONU. O fluxo da mensagem churning é mostrado na Figura 17.

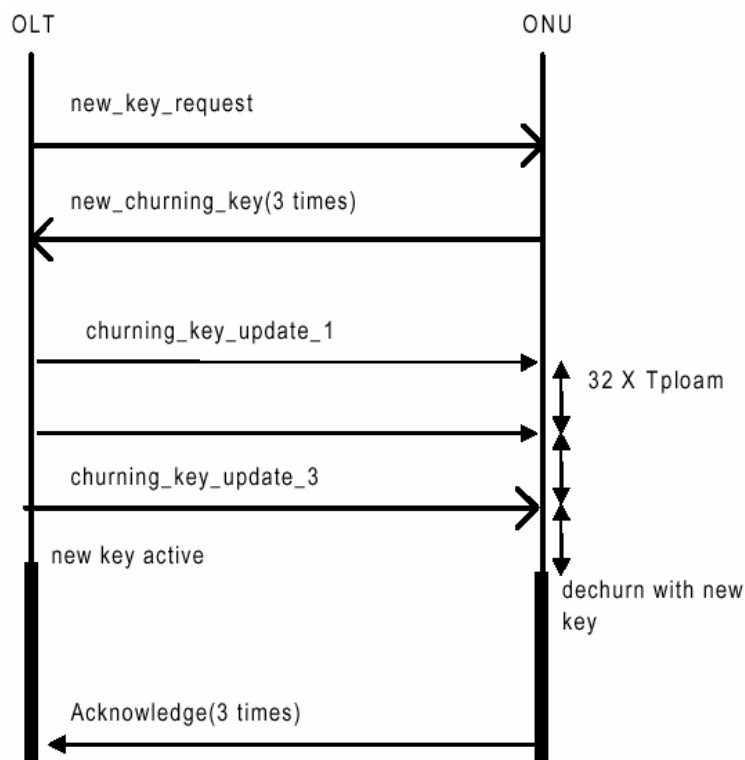



Figura 17 - Fluxo de mensagens de "churn"

Após recepção da nova mensagem new_key_request, a ONU responde com um new_churning_key. O ONU emite a esta mensagem 3 vezes consecutivas. Se o OLT receber 3 chaves novas idênticas, emite a um churning_key_update 3 vezes em 3 células PLOAM com um intervalo apropriado de 32 x Tploams entre elas para protecção contra perda das mensagens. Estas mensagens têm a prioridade mais elevada em relação a todas as outras mensagens. O número de seqüência a mensagem (i) é incluído nestas mensagens. Se pelo menos uma destas mensagens for recebido, o ONU sabe quando a chave nova é activada na OLT pois o atraso das mensagens é a priori conhecido. A nova chave fica válida 32 x Tploam após a terceira mensagem do churning_key_update. O ONU envia 3 confirmações após ter recebido qualquer uma das 3 mensagens de actualização de chave. Se o OLT não receber nenhuma confirmação de recepção após um intervalo de 300 ms após ter emitido a última mensagem do churning_key_update, o OLT activa o estado de *Loss of Acknowledge* (LOAi) para esta ONU. O OLT indica ao ONU que VPs churned que emite à mensagem do churned_VP 3 vezes. Espera reconhecer antes de passar este VP rio abaixo ao ONU. Se nenhum reconheça estiver recebido dentro do ms 300 após ter emitido a última mensagem do churned_VP, o OLT detectar o estado de LOAi.

3.4.4 Protocolo MAC

O controlador do MAC no OLT atribui a largura de banda upstream na PON entre as ONUs de uma maneira justa e necessita de informação executar esta tarefa. O ONU mapeia a informação requerida no campo do payload do minislot que é parte de um Divided_slot. É permitido à ONU enviar este minislot após ter recebido uma concessão correspondente do divided_slot. Esta concessão é estabelecida ou libertada usando a mensagem de Divided_Slot_Grant_configuration. O comprimento e o offset do minislot são enviados na mesma mensagem.

3.4.5 Funções TC específicas de ATM

No canal downstream as células ATM são definidas de acordo com as normas internacionais, nomeadamente de acordo com a ITU-T I.361. O controlo de erros do cabeçalho e o delineamento de células são definidas de acordo com a I.432.1. As operações de *scrambler* são também definidas de acordo com a I.432.1, sendo utilizado método de *scrambler* de células distribuído para sistemas de transporte baseado em células. As células *idle*, também definidas de acordo com a I.432.1, são inseridas na OLT e descartadas pela ONU para desacoplamento de ritmo de células. As células PLOAM, identificadas por um cabeçalho específico, são igualmente descartadas na ONU.

No canal upstream o formato das células ATM e o controlo de erros do cabeçalho são igualmente definidas de acordo com as normas internacionais, nomeadamente de acordo com a ITU-T I.361.

Delineamento de células

Como no canal upstream as células provenientes das diferentes ONUs chegam à OLT com fases diferentes, o OLT mantém n diagramas de estado, um para cada uma das ONUs activas. A Figura 18 mostra o diagrama de estados de um ONU.

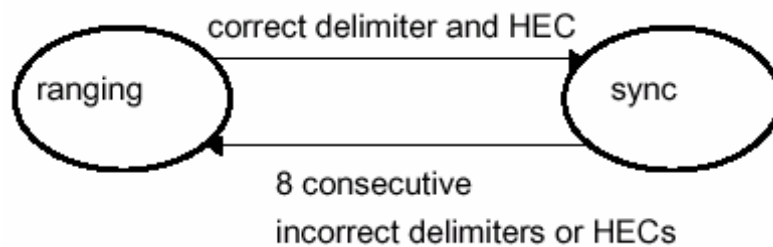



Figura 18 - Diagrama de estados de delineamento de células

Inicialmente o delineamento de célula é efectuado pelo método ranging. A ONU ajusta o tempo de ida e volta (RTT) para fazer a célula chegar no instante correcto à OLT. O processo ranging pode ser visto como o estado HUNT como definido na recomendação I.432.1. Após uma célula com HEC correcto ser detectado, o ONU é declarado sincronizado. Se forem detectados 8 HECs consecutivos incorrectos o ONU é declarado fora da sincronização (LCDi, loss of cell delineation) e ele será desactivado e *reranged*. As concessões em curso para esta ONU serão descartadas.

Operação de scrambler

As células upstream são scrambled com um polinómio gerador $x^9 + x^4 + 1$, sendo inicializado todo a 1 lógico. Este padrão é somado módulo 2 a cada célula ou ao minislot upstream, excluindo os octetos dos cabeçalhos.

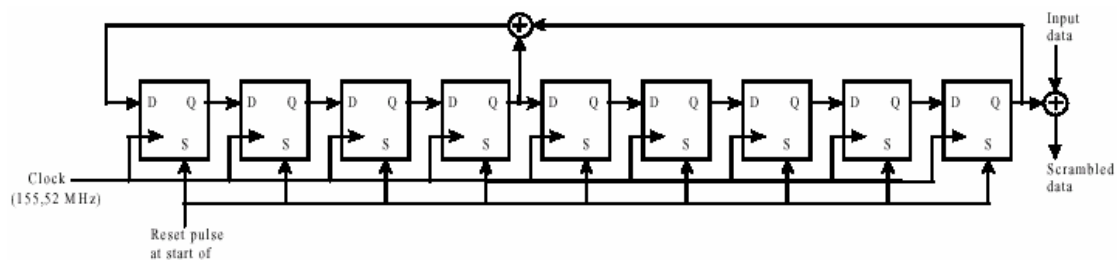



Figura 19 - Upstream scrambler

3.5 Arquitectura funcional de alternativas para evolução da ODN

A arquitectura funcional apresentada na figura seguinte mostra várias alternativas possíveis para a evolução da ODN.

O suporte de serviços de banda larga (incluindo distributivos e interactivos) e de banda estreita na mesma ODN pode ser conseguida em camadas diferentes, e consequentemente com graus diferentes de integração.

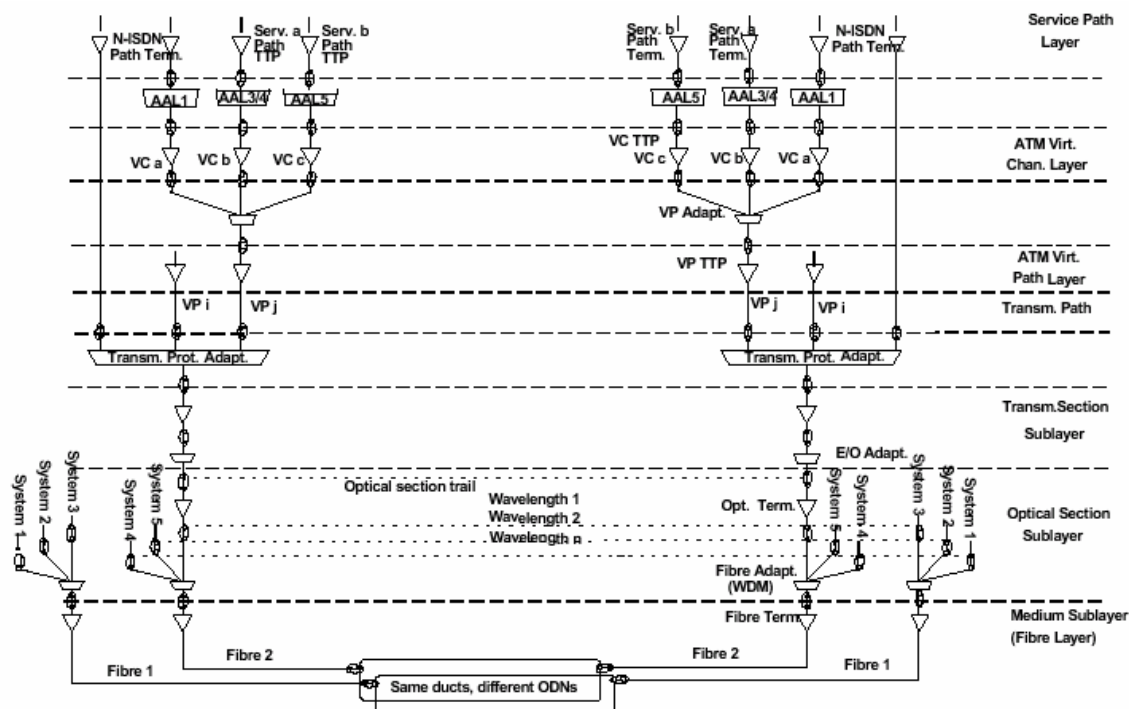



Figura 20 - Arquitectura funcional de alternativas de ODN

Partindo da camada mais baixa, o suporte de serviços diferentes pode ser conseguido usando a mesma infra-estrutura física (as mesmos caleiras, o mesmo cabo de fibra) mas fibras diferentes. Isto é mostrado na figura na *medium sublayer*. O nível baixo da integração implica a utilização de sistemas de transmissão diferentes para serviços diferentes.

A segunda alternativa consiste na utilização de comprimentos de onda diferentes, na camada óptica, usando ainda sistemas diferentes de transmissão para os serviços diferentes.

A terceira alternativa consiste na utilização de um subsistema comum de transmissão óptica (a mesma infra-estrutura, um comprimento de onda óptico único, uma estrutura de trama única), em cima do qual o protocolo de adaptação de transmissão (*Transmision Protocol Adaptation*) consegue incluir quer "bytes" (incluindo nomeadamente canais de vídeo digital codificados) e células ATM. A função do protocolo de adaptação de transmissão pode também consistir na modulação analógica de um serviço digital ou canal CCIR, podendo assim constatar-se a diversidade de opções que este protocolo pode ter.

A quarta alternativa consiste na utilização de ATM (e naturalmente de um subsistema comum de transmissão óptica, de um único formato de fibra, de um único protocolo de adaptação de Transmissão ATM) como um portador comum para todos os outros tipos de serviços. A arquitectura inclui as camadas VP e VC, no topo das quais são suportados os serviços através da camada de adaptação ATM (AAL) adequada.

3.6 Evolução de OAN baseada em sistemas de transmissão HFC

Nesta secção analisam-se os elementos principais da rede de um sistema HFC, nomeadamente os componentes ópticos. São considerados dois tipos de sistemas HFC:

1) sistemas de acordo com as especificações DVB, com transmissão downstream baseado em MPEG2 TS (Transport Stream), como em EN 300 429 (excluindo transmissão upstream);

2) sistemas de acordo com as especificações DAVIC, incluindo transmissão upstream, baseado em TDMA para o acesso à largura de faixa atribuída, e modulação QPSK (DAVIC 1.0 Parte 8).

3.6.1 Sistema de distribuição HFC unidireccional

A configuração de referência de um sistema de distribuição HFC, que só transporta dados do serviço ao utilizador na direcção downstream, é mostrada na figura seguinte.

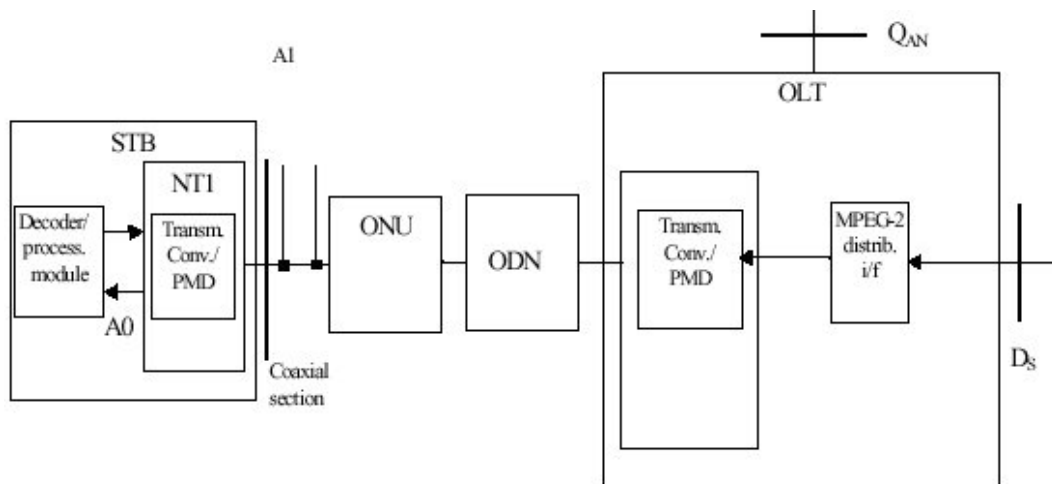



Figura 21 - Configuração de referência de sistema de distribuição HFC

O OLT HFC é constituído por dois blocos funcionais principais, o módulo de interface com as funções distributivas e o módulo de interface com a camada física da rede de acesso.

3.6.2 Sistema HFC MPEG-2 bidireccional

A figura seguinte mostra a configuração de referência de um sistema HFC bidireccional com MPEG-2 TS para a parte digital da convergência de transmissão sobre a rede de acesso.

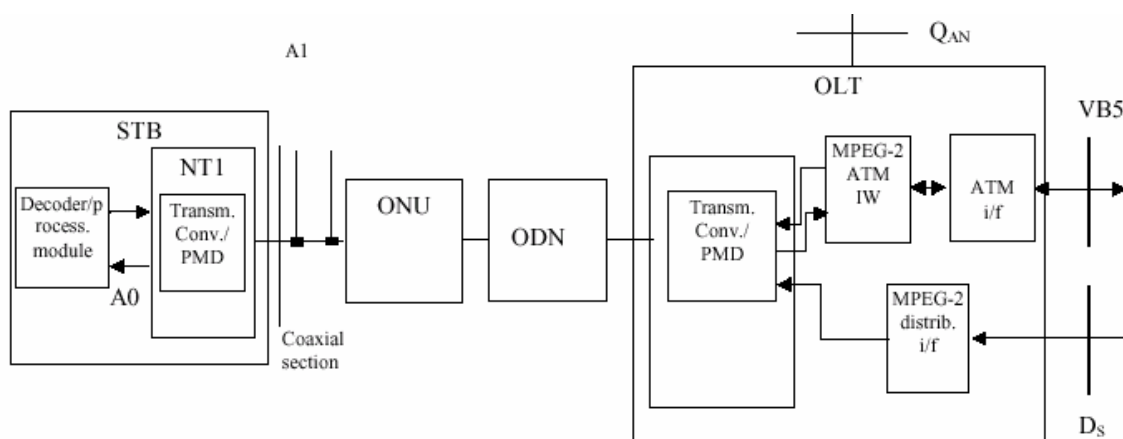



Figura 22 - Configuração de referência de sistema HFC MPEG-2

A OLT inclui os seguintes blocos principais:

- Funções de terminação de VB5 ATM, fornecendo interoperabilidade com o comutador ATM;

- Funções de terminação da interface distributiva para interoperabilidade com o OLT;

- Funções de interfuncionamento com ATM/MPEG-2, terminando a conexão ATM e convertendo-as em fluxos MPEG-2 TS;

- Funções da camada física específicas da rede de acesso, permitindo transmissão bidireccional sobre a rede de acesso HFC.

O sistema de HFC inclui neste caso transmissão upstream de dados do utilizador, permitindo o provisionamento de serviços interactivos. Esta transmissão é baseada no protocolo TDMA e na modulação QPSK, de acordo com especificações DAVIC. A transmissão downstream da informação associada ao protocolo TDMA ocorre usando uma portadora diferente da usada para a informação do utilizador.

3.6.3 Sistema HFC baseado em ATM

Este sistema é bidireccional e utiliza ATM para a convergência de transmissão de serviços interactivos. Os serviços distributivos podem ainda ser transportados usando portadoras diferentes usando MPEG-2 TS sobre diferentes

portadoras, como especificado em IEEE 802.14 Draft. A correspondente configuração de referência é mostrada na figura seguinte.

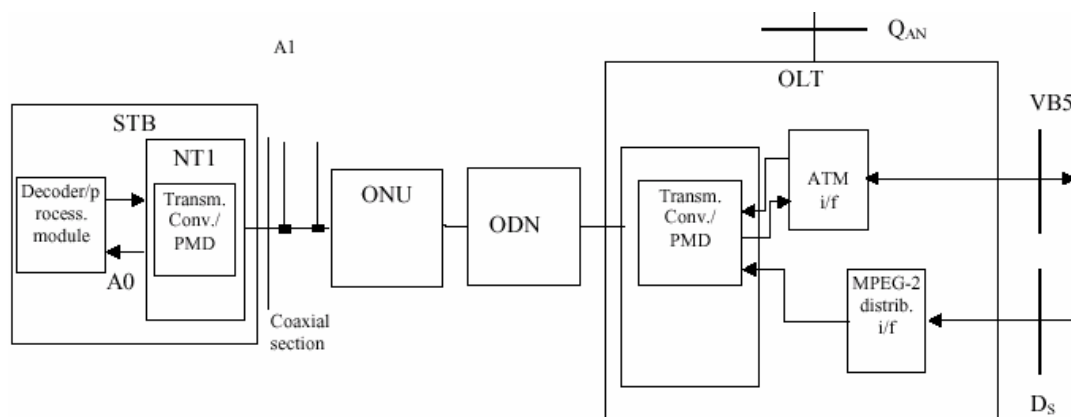



Figura 23 - Configuração de referência para sistema HFC baseado em ATM

A OLT inclui neste caso os seguintes blocos principais:

- Funções de terminação de VB5 ATM, garantindo a interoperação com o comutador ATM;
- Funções de terminação da interface distributiva para interoperabilidade com o OLT;
- Funções da camada física específicas da rede de acesso, permitindo transmissão bidireccional sobre a rede de acesso HFC.

A multiplexagem de serviços interactivos ATM e de serviços distributivos ocorre no nível da portadora.

3.6.4 Sistemas overlay HFC e FTTB/C

No exemplo de uma rede existente de HFC para serviços de difusão com transmissão analógica, é possível sobrepô-la (*overlay*) com uma rede de FTTC/B a fim de fornecer serviços interactivos digitais adicionais, garantindo o investimento precedente da rede HFC.

A integração dos serviços pode ser feita num ponto de multiplexagem (combinador). Neste ponto os diferentes sinais que provêm de diferentes media/sistemas são multiplexados num único meio para transporte dos diferentes serviços aos utilizadores de uma forma integrada (de modo passivo ou activo), tal como se mostra na Figura 24.

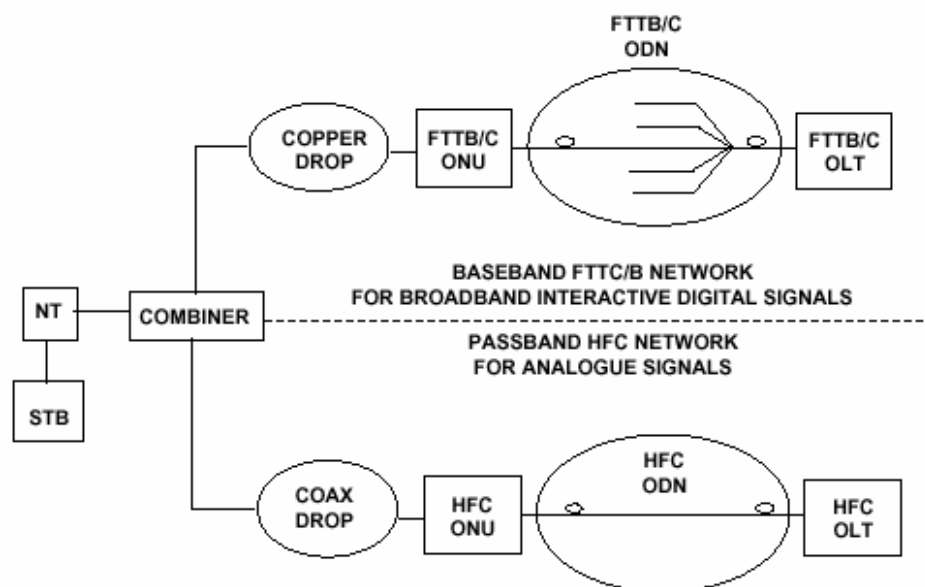



Figura 24 - Overlay de redes FTTB/C e HFC

Onde as redes HFC e FTTB/C são sobrepostas, é possível multiplexar os sinais análogos que provêm de uma rede HFC e os sinais digitais que vêm de uma rede FTTB/C no mesmo cabo coaxial para o utilizador usando FDM.

Neste caso a função do "combinador" podia ficar situada em qualquer ponto entre do segmento drop, entre a ONU e os blocos funcionais do NT.

Esta solução permite a integração de sinais análogos de CATV e de sinais digitais interactivos de banda larga no mesmo meio. O fornecimento de energia à ONU podia ser feito no mesmo cabo de alimentador coaxial usado para transportar o sinal de RF.

4 *Referências*

[1] ETSI ETS 300 681, "Optical Distribution Network (ODN) for Optical Access Network (OAN)", June 1997.

[2] ETSI TS 101 272, "ATM Passive Optical Networks (PONs) and the transport of ATM over digital subscriber lines", June 1998.

[3] ITU-T Rec. G.983.1, "Broadband Optical Access Systems Based on Passive Optical Networks (PON)", 1998.

[4] ITU-T Rec. G.983.2, "ONT Management and Control Interface Specification for ATM-PON," 1999.

[5] ITU-T Rec. G.983.3, "Broadband Optical Access Systems with Increased Service Capability by Wavelength Allocation", 2001.

[6] ITU-T Rec. G.984.1, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics", March 2003.

[7] ITU-T Rec. G.984.2, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification", March 2003.

[8] ITU-T Rec. G.984.3, "Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification", February 2004.

[9] ITU-T Rec. G.984.4, " Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification", June 2004.

[10] ITU-T Rec. G.985, "100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system", March 2003.

[11] ITU-T Rec. I.321, " B-ISDN protocol reference model and its application", April 1991.

[12] ITU-T Rec. I.732, " Functional characteristics of ATM equipment", March 1996.

Acrónimos

AF	Adaptation Function
AAL	ATM Adaptation Layer
APON	ATM PON
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Ratio
BIP	Bit Interleaved Parity
BISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
CATV	Community Antenna Television / Cable Television
CCIR	Consultative Committee for International Radio
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAVIC	Digital Audio Visual Council
DVB	Digital Video Broadcast
EPON	Ethernet PON
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDM	Frequency-division multiplexing
FSAN	Full Services Access Networks
FTTB	Fibre to the Building
FTTC	Fibre to the Curb / Cabinet
FTTH	Fibre to the Home
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Networks
HEC	Header Error Control
HFC	Hybrid Fiber Coax
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IF	Interface
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
LCD	Loss of Cell Delineation
LCF	Laser Control Field
LOA	Loss of Acknowledge
MAC	Media Access Control
MPEG	Moving Picture Experts Group
NT	Network Termination
OAM	Operation and Maintenance
OAN	Optical Access Network
OBD	Optical Branching Device
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
ONU	Optical Network Unit

PLOAM	Physical Layer OAM
PMD	Physical Media Dependent
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RAU	Request Access Unit
RF	Radio Frequency
R/S	Receive/Send reference points
RTT	Round Trip Time
RXCF	Receiver Control Field
SDM	Space Division Multiplexing
SNI	Service Node Interface
STB	Set Top Box
TC	Transmission Convergence
TCM	Time Compression Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TS	Transport Stream
UNI	User Network Interface
VC	Virtual Channel
VoD	Video on Demand
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier
WDM	Wavelength Division Multiplexing